**TERMORRETIFICAÇÃO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* HILL EX
MAIDEN (MYRTACEAE) SUBMETIDA AO CUPIM DE MADEIRA SECA,
Cryptotermes brevis (WALKER, 1853) (ISOPTERA: KALOTERMITIDAE)
PARA TESTE DE RESISTÊNCIA**

ANTONIO MARIA DAS CHAGAS PESSOA

Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. **EVONEO BERTI FILHO**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Mestre em
Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de
Produtos Florestais.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo — Brasil

Setembro - 2002

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Pessoa, Antonio Maria das Chagas

Termorreificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (Myrtaceae) submetida ao cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis* (Walker, 1853) (Isoptera: Kalotermitidae) para teste de resistência / Antonio Maria das Chagas Pessoa. - - Piracicaba, 2002.

39 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.
Bibliografia.

1. Calor 2. Eucalipto 3. Madeira (resistência) 4. Tecnologia 5. Termitas 6.
Tratamento térmico I. Título

CDD 674.3

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

H O M E N A G E M

A Manoel Pessoa Barros – meu pai, À Raimunda Maria das Chagas – minha avó materna e à Eliaquina Maria da Costa - madrinha Lili, IN MEMORIAN, que sempre me passaram uma filosofia para vencer na vida.

DEDICO

À minha mãe Rita Maria das Chagas Barros

OFEREÇO

Aos meus irmãos: Mário, Malica, Marluce, Manacés,
Moisés, Nélío, Jonas, Carlos, Zé Maria e Lauro.

A G R A D E C I M E N T O S

- A Deus, fonte inesgotável de inspiração e sabedoria, que traça nossa trajetória nesta vida, mas que sempre nos dá a oportunidade de escolha, por me iluminar na decisão certa e pelo cumprimento de mais uma etapa.
- À minha família, pelo investimento, incentivo e por acreditarem que eu poderia ir um pouco mais longe na minha vida profissional, sempre empenhando esforços para que isto acontecesse. Todas as conquistas são devidas a educação e as oportunidades que vocês me deram.
- Ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, pela possibilidade de aprimoramento profissional.
- Ao Prof. Dr. Evoneo Berti Filho, pela orientação efetiva, constante incentivo e, principalmente, pela confiança e amizade mantidas durante o período do mestrado.
- Ao prof. Dr. José Otávio Brito pelo profissionalismo, colaboração efetiva, apoio constante e pela confiança e amizade no decorrer da realização deste trabalho.
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento do Projeto de Pesquisa e pela concessão da bolsa de estudo que tornou possível a realização deste mestrado.

- Aos Professores Doutores Mário Tomazello Filho, José Nivaldo Garcia e José Djair Vendramim, pelas sugestões na minha qualificação.
- A todos os Professores do Depto. de Ciências Florestais, em especial aqueles que ministraram as disciplinas, contribuindo para a minha qualificação profissional.
- Aos funcionários do Depto. de Ciências Florestais, em especial ao técnico Udemilson Luis Ceribelli do Setor de Química, Celulose e Energia, pela dedicação ininterrupta na Termorrificação da Madeira e a José Martins Oliveira e Ivan Francisco de Carvalho de serviços gerais.
- À equipe da serraria do Depto. de Ciências Florestais sob a chefia do Prof. Dr. José Nivaldo Garcia por seu apoio no processamento das madeiras, em especial ao técnico Luis Eduardo Facco pelo auxílio constante.
- Aos funcionários do Depto. de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola, em especial aos técnicos Augusto Cesar Pinheiro Florim e João Angelo Cerignoni, a José Ventura Filho, Horozino Rodrigues dos Santos e José Carlos Rodrigues Castilho pela contribuição e amizade durante a realização deste mestrado.
- À Doutoranda do PPG - Recursos Florestais / ESALQ/USP, Luciane Kern Junqueira pelo auxílio na identificação do cupim e amizade.
- À Profa. Lia Cunha de Oliveira da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará e à Eliza Harumi Takashiba Doutorandas do PPG – Recursos Florestais da ESALQ/USP, pelo auxílio nas análises estatísticas e interpretações.
- À equipe da Biblioteca do Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais “IPEF” coordenada pela bibliotecária Marialice Metzker Poggiani, em especial ao Paulo Sérgio Beraldo e Olicina Maria de Goes.

- À equipe da Biblioteca Central da ESALQ/USP sob a direção da bibliotecária Márcia Saad, em especial às bibliotecárias Eliana M. Garcia e Silvia Zinsly pelas correções bibliográficas na minha Dissertação de Mestrado.
- À secretaria do Depto. de Ciências Florestais, em especial às secretárias Margarete Zandoná Pinese e Maria de Fátima Durrer Juliani e ao secretário do PPG – Recursos Florestais, Alexandre Halle Najm pelos auxílios e amizade durante o meu mestrado.
- Aos técnicos do Laboratório de Informática e Processamento de Dados do Depto. de Ciências Florestais, sob a chefia de Rogério Oliveira Naressi, Ivo Rosa Filho e Evandro Tell Amatrice, pelo auxílio na computação dos dados.
- À CAVE/COSEAS/PCLQ, pela concessão de moradia e apoio durante a minha permanência na cidade de Piracicaba.
- À Flavia Paduan Bellani, da Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP) pelas correções gramaticais da minha Dissertação.
- À Anne Karoline, Camila Ariele, Aninha, Camilinha, Regina, Fran e Talita e aos colegas Udemilson e William do Laboratório de Química, Celulose e Energia pela colaboração e amizade.
- Aos colegas do Depto. de Ciências Florestais e a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.
- Aos colegas do Laboratório de Entomologia Florestal da ESALQ/USP, Alexsandro, Kelsen, João, Moisés, Luciano, Karina, Raquel, Fernanda, Cássia, Daniela, Beth e Thaís, pelo incentivo e amizade.

- Aos amigos da Vila PG, em especial Ademir Sérgio, Alailson Venceslau Santiago, Antonio Sampaio Baptista, Dori Edson Nava, Luiz Fernando Caldeira Ribeiro e Winter Erik de Oliveira, pelos momentos agradáveis e pela manutenção da nossa Vila de Pós-Graduação.
- Aos amigos, Santiago, Tonhão, Winter, Paulo Nazareno, José Segundo, Evandro, Kelmo, Luciana Castro, Viviane Freitas, Giuliana, Fernando Perez, Aninha, Oka, Renato Almeida, Jonas, Regis, João Célio, Reynaldo e Marli, Cristiane Tabarelli, Graziela e Raquel Moraes, pela ótima amizade.
- Aos Paraenses, Marcelino Carneiro e Claudia Lira, Marcos Piedade e Demora, Joelson e Betania, Oriel e Nele, Rainério e Rita, Edson Vidal, Simão, Marcelo e Lia, Rosângela, Marquinho e Cláudia, pelo companheirismo e amizade no decorrer deste mestrado.
- À pessoas importantes que além de toda a minha família incentivaram a minha vida estudantil: Benedito Lázaro Rodrigues (Diretor do SENAI BRAGANÇA – PA), Márcio Bazílio (Instrutor do SENAI BRAGANÇA – PA), Luiz Gonzaga da Silva Costa, Paulo Luiz Contente de Barros, Ítalo Augusto de Souza Albério e Manoel Malheiros Tourinho (Professores da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ), Roque Pina (Meu Cunhado), Ingrid Silva e Marlon Menezes (Meus amigos especiais e Mestres em Ciências Florestais), Dona Zuca, Dona Flora e Sandra (Amigas particulares), Toninho (Meu Sobrinho), Andréa Simone Lopes Lima (Minha Namorada), em especial a Orlando Shigueo Ohashi (Professor da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ e meu Orientador no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq/FCAP “1996 – 1999”).

- A todos aqueles que não tiveram seus nomes citados, mas que direta ou indiretamente contribuíram para a minha ascensão profissional, o meu muito obrigado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xv
SUMMARY	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Madeira e calor	3
2.1.1 Influência do calor nas características da madeira	3
2.2 Processo de termorretificação e a contribuição tecnológica à madeira	5
2.3 Cupim e madeira	6
2.4 Características da Ordem Isoptera	8
2.4.1 Biologia e comportamento dos cupins	9
2.5 Cupim de madeira seca	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Coleta e criação de cupins	12
3.2 Obtenção da madeira	13
3.3 Desdobramento da madeira na serraria	15
3.4 Termorretificações	17
3.5 Preparo de corpos de prova e montagem do experimento (madeira x cupim)	19
3.6 Análise da perda de massa das madeiras termorretificadas	20
3.7 Avaliação e análise do experimento (madeira x cupim)	21

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Influência da temperatura na perda de massa das madeiras	23
4.2 Influência da temperatura de tratamento das madeiras sobre o número de cupins mortos e o dano causado às madeiras pelos cupins	25
5 CONCLUSÕES	31
5.1 Dano causado às madeiras	31
5.2 Mortalidade de cupins	31
5.3 Presença de outras castas	32
5.4 Comentários adicionais	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Cupim <i>Cryptotermes brevis</i> mantidos em laboratório (Laboratório de Entomologia Florestal, ESALQ/USP – Outubro de 2000)	13
2 Plantio de <i>Eucalyptus grandis</i> com 21 anos de idade, 35 a 45 cm de diâmetro e altura de 20 a 25 m (EECF – Anhembi – SP, Dezembro de 2000)	14
3 Obtenção de toras de 4 a 5 m de comprimento (EECF – Anhembi – SP, Dezembro de 2000)	14
4 Processamento das toras para obtenção de pranchas de 400 x 25 x 3 cm (Serraria da ESALQ/USP, Piracicaba – SP, Dezembro de 2000)	15
5 Pranchas em exposição ao ar livre para redução do teor de umidade (Pátio da serraria da ESALQ/USP, Piracicaba – SP, Dezembro de 2000)	16
6 Corpos de prova de 28 x 15 x 2,5 cm, armazenados em ambiente fechado para entrar em equilíbrio com a umidade do meio (LQCE, ESALQ/USP, Agosto de 2001)	16
7 Estufa usada para a termorretificação da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> (LQCE, ESALQ/USP, Outubro de 2001)	17
8 Etapas da termorretificação, não cumulativa (Temperatura x Tempo) Cada letra e respectiva área, corresponde a um tratamento térmico A = Tratamento a 120 °C; B = tratamento a 140 °C; C = Tratamento a 160 °C; D = Tratamento a 180 °C; E = Tratamento a 200 °C	18
9 Madeiras de <i>Eucalyptus grandis</i> mostrando suas respectivas temperaturas de termorretificação e a madeira testemunha (não tratada)	19

10	Representação do experimento “madeira x cupim” (Laboratório de Entomologia Florestal ESALQ/USP, Março de 2002)	20
11	Escala de dano provocado pelos cupins aos corpos de prova (Laboratório de Entomologia Florestal, ESALQ/USP – Junho de 2002) Notas: 1 – dano superficial ou leve; 2 – dano moderado; 3 – dano acentuado; 4 – dano profundo correspondente ao do tratamento testemunha	22
12	Perda de massa (*não cumulativa) das madeiras durante as termorretificações em função da temperatura (*) Cada etapa dos tratamentos térmicos foi realizada separadamente	23
13	Cupins mortos em função da temperatura de tratamento das madeiras	26
14	Dano causado pelos cupins às madeiras em função da temperatura de tratamento	26

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Análise de variância com aplicação do teste F para a perda de massa das madeiras de <i>Eucalyptus grandis</i> durante os tratamentos térmicos	24
2 Teste de Tukey para as perdas de massa das madeiras durante os tratamentos térmicos	24
3 Análise de variância com aplicação do teste Friedman para o número de cupins mortos em função da temperatura de tratamento das madeiras	25
4 Teste LSD para o número de cupins mortos em função da temperatura de tratamento das madeiras	27
5 Escala de dano dos cupins às madeiras em função da temperatura de tratamento .	29
6 Presença de indivíduos alados no experimento (madeira x cupim)	30

**TERMORRETIFICAÇÃO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* HILL EX
MAIDEN (MYRTACEAE) SUBMETIDA AO CUPIM DE MADEIRA SECA,
Cryptotermes brevis (WALKER, 1853) (ISOPTERA: KALOTERMITIDAE)
PARA TESTE DE RESISTÊNCIA**

Autor: ANTONIO MARIA DAS CHAGAS PESSOA

Orientador: Prof. Dr. EVONEO BERTI FILHO

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis*, ao ataque do cupim de madeira seca *Cryptotermes brevis*. Esse inseto é importante economicamente por seus danos causados às edificações e produtos à base de madeiras. O trabalho iniciou com a coleta da madeira de *E. grandis*, junto à Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, SP. Em seguida as madeiras foram desdobradas em pranchas de 400 x 25 x 3cm, que posteriormente sofreram secagem parcial ao ar livre, e reprocessadas em tábuas de 28 x 15 x 2,5cm. A criação dos cupins, foi desenvolvida no Laboratório de Entomologia Florestal do Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola da ESALQ/USP. As termorretificações foram conduzidas em estufa automatizada conforme a metodologia proposta por Pincelli (1999). Foram realizadas 5 termorretificações com 2 repetições por temperatura. As temperaturas utilizadas foram: 120 °C; 140 °C; 160 °C; 180 °C e 200 °C. Para o experimento (madeira x cupim), foi utilizado o delineamento experimental

inteiramente ao acaso, com 7 tratamentos e 15 repetições. Em cada repetição foram colocados 40 cupins, na proporção 38 ninfas para 2 soldados. Os tratamentos foram: T₁ – madeira seca a 100 °C; T₂ - madeira termorretificada a 120 °C; T₃ - madeira termorretificada a 140 °C; T₄ - madeira termorretificada a 160 °C; T₅ - madeira termorretificada a 180 °C; T₆ - madeira termorretificada a 200 °C e T₇ - testemunha (madeira seca ao ar livre). Para cada termorretificação foi determinado o percentual de perda de massa das madeiras. À medida que eleva-se a temperatura, há uma tendência em aumentar a perda de massa. Na avaliação do experimento (madeira x cupim) foi comparado os corpos de prova dos diversos tratamentos mediante a atribuição de notas para o dano provocado pelo cupim. Foi observado a presença de indivíduos alados, a mortalidade de cupins e, ainda, o fenômeno de canibalismo. O tratamento térmico da madeira não mostrou-se resistente ao ataque dos cupins, pois todas as madeiras foram atacadas, em diferentes escalas de danos. O tratamento de 200 °C apresentou maior número de cupins mortos, enquanto que o tratamento testemunha observou-se a menor mortalidade. A presença de alados foi mais acentuada no tratamento de 180 °C e a menor quantidade se observou no tratamento de 100 °C.

**THERMORECTIFICATED WOOD OF *Eucalyptus grandis* HILL EX MAIDEN
(MYRTACEAE) SUBMITTED TO THE DRYWOOD TERMITE, *Cryptotermes
brevis* (WALKER, 1853) (ISOPTERA: KALOTERMITIDAE) FOR TESTING
RESISTANCE**

Autor: ANTONIO MARIA DAS CHAGAS PESSOA

Adviser: Prof. Dr. EVONEO BERTI FILHO

SUMMARY

This research deals with the evaluation of the thermorectificated wood of *Eucalyptus grandis*, against the attack of the drywood termite *Cryptotermes brevis*. The termites were reared in the laboratory of the Dept.of Entomology, Plant Pathology and Agricultural Zoology. Following the methodology proposed by Pincelli (1999) the wood was thermorectificated in an automatic oven at the Dept.of Forest Sciences. Both Departments belong to the College of Agriculture Luiz de Queiroz, University of São Paulo, in Piracicaba, State of São Paulo, Brazil. The wood thermorectification was performed at 5 temperatures: 120 °C, 140 °C, 160 °C, 180 °C, and 200 °C, with 2 replications per temperature. To evaluate the association wood and termite it was used a totally random experimental outline, with 7 treatments (T₁- wood dried at 100 °C, T₂ – wood thermorectified (wt) at 120 °C, T₃ – wt at 140 °C, T₄ – wt at 160 °C, T₅ – wt at 180 °C, T₆ – wt at 200 °C, T₇ - wood dried at environmental temperature) and 15 replic

ations. Each replication received 30 termite specimens (38 nymphs and 2 soldiers ones). The results were as follows: according to the increase in temperature one observes a tendency in the increasing of wood mass loss; wood thermally treated is not resistant to termite attack; the highest termite mortality was observed at the 200 °C treatment, while the lowest one occurred in the check; a high number of alates was observed at the 180 °C treatment whilst this number was low at the 100 °C.

1 INTRODUÇÃO

A retificação térmica, ou termorretificação de madeiras, é uma técnica que tem como componente básico: o tratamento à base de calor. É uma forma de se preservar a madeira, sem a utilização de produtos químicos.

A madeira é constituída por vários polímeros e, sendo material orgânico, está sujeita ao ataque de diversos agentes biológicos, incluindo os cupins. No processamento industrial, há várias possibilidades de transformação da madeira, na qual o calor é usado como componente básico podendo ter sua ação mais ou menos intensa em relação às transformações estruturais da madeira.

Nos vários processos, nos quais a ação do calor tem papel de destaque, quando a madeira sofre total transformação, a combustão se destaca como a mais tradicional e mais amplamente conhecida. A aplicação de calor na madeira consiste em transformações estruturais que visam determinados produtos, apresentando características diferenciadas da madeira original.

No caso da termorretificação, que corresponde a uma pirólise parcial, a ação do calor pode ser administrada visando um determinado benefício ao produto final que se deseja. Os benefícios do calor se destacam quando, na madeira submetida ao processo de tratamento térmico, ocorrem melhorias da sua estabilidade dimensional, obtendo-se dessa forma, produtos de melhor qualidade além de agregar valor ao produto final.

A retificação térmica, além de prolongar a vida útil da madeira, tem como propósito substituir madeiras tradicionais, principalmente aquelas que apresentam elevado custo de obtenção, bem como as espécies ameaçadas de extinção. A preservação

de madeiras contribui diretamente para a conservação ambiental, além de reduzir a necessidade de exploração das matas nativas (Fernandes, 1999).

Neste trabalho deu-se ênfase aos cupins de madeira seca, *Cryptotermes brevis* (Walker, 1853), considerados a praga mais importante economicamente para os produtos derivados de madeira.

Esta pesquisa busca obter dados para responder as seguintes questões:

- (a) A madeira tratada termicamente, pode funcionar como proteção ao ataque dos cupins?
- (b) O comportamento dos cupins em contato com as madeiras termorretificadas, pode ser alterado?

Neste contexto o objetivo do presente estudo foi, especificamente, avaliar a resistência da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae) ao ataque do cupim de madeira seca *Cryptotermes brevis* (Isoptera: Kalotermitidae). Tal objetivo concentra-se na hipótese de que as transformações acarretadas na estrutura da madeira, durante o processo de termorretificação, podem resultar no eventual aumento da sua resistência ao ataque de cupins.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Madeira e calor

2.1.1 Influência do calor nas características da madeira

A aplicação de calor na madeira, pode implicar em transformações que alteram seu comportamento estrutural. Um exemplo é o processo de carbonização, na qual a ação do calor tem como objetivo principal a produção do carvão vegetal (Brito, 1992). Pode-se citar ainda, a destilação seca em que, além de produzir o carvão vegetal, é possível recuperar os gases voláteis que são eliminados no processo. Na gaseificação, a ação do calor transforma a madeira totalmente em produtos gasosos. A combustão é outro exemplo de processo em que a madeira é totalmente transformada em energia.

No aspecto químico, o conceito fundamental da ação do calor na madeira é identificado pela pirólise. Brito (1992) definiu tal processo como a degradação da madeira, em que a ação do calor ocorre com a ausência de agentes oxidantes ou de catalizadores e, portanto, sem sofrer combustão. Conforme menciona o autor, a pirólise é a base de onde surgiram os processos de carbonização, destilação seca e gaseificação.

As fases da pirólise da madeira, podem ser identificadas através da perda de massa da mesma, baseando-se nas fortes correlações que existem entre reações químicas verificadas quando a temperatura se eleva.

Guedira (1988) e Vovelle & Mellottee (1982) classificaram a redução de massa da madeira, durante o processo de pirólise, em cinco diferentes fases. A primeira fase está situada entre a temperatura ambiente e 100 °C, correspondente a saída de água livre

da madeira. A segunda, situa-se entre 100 °C e 250 °C, também correspondendo a perda de água. Nessa fase ainda existe água livre, em quantidade menor retida nas paredes das células, e considerada como estando absorvida junto às funções hidroxilas das cadeias dos polissacarídeos e da lignina. Outra parte existente é a água de constituição, cuja eliminação é acompanhada por uma degradação irreversível da madeira, correspondendo à destruição dos grupos hidroxílicos. A terceira fase ocorre entre 250 °C e 330 °C e, em geral, corresponde a destruição das hemiceluloses. A quarta fase entre 330 °C e 370 °C, e supõe-se que esteja relacionada com a destruição da celulose. A quinta manifesta-se a temperaturas acima de 370 °C, quando o carvão vegetal é produzido e, geralmente, tal fase está fortemente ligada ao início da degradação da lignina.

Quanto ao calor aplicado na madeira, alguns fatores merecem ser destacados, pois influenciam sensivelmente na avaliação do processo. Nesse aspecto, Martin (1984) mencionou vários fatores que podem agir sobre a natureza e também no rendimento da pirólise: fatores relacionados à natureza química da madeira: composição elementar, quantidades dos principais polímeros “celulose, hemicelulose e lignina”, condutibilidade térmica, densidade e resistência mecânica, entre outros e fatores ligados às condições operacionais: temperatura, pressão, tempo de resistência da madeira na zona de aquecimento, pré-tratamento químico ou térmico efetuados sobre a madeira.

Wenzl (1970) destacou que o nível de contração volumétrica observado no processo de pirólise, tanto para madeira como para resíduos sólidos é função da temperatura. A redução é mais acentuada no sentido tangencial e menos no longitudinal. Brito & Barrichelo (1979) observaram o comportamento da celulose e da lignina, isoladas na madeira de *Eucalyptus* spp. quando submetidas ao processo de carbonização, à temperatura constante de 300 °C. Através desse estudo concluíram que, ao longo de 90 minutos, restou apenas 1% de resíduo da celulose, enquanto que da lignina ainda sobrou uma percentagem residual de 46,5%. Isso evidencia claramente que a celulose em elevadas temperaturas se degrada mais rapidamente que a lignina.

A temperatura é considerada o fator mais importante a influenciar a ação do calor sobre a madeira. Mas outro, que se destaca notoriamente merecendo atenção especial, é a taxa ou velocidade de aquecimento.

Deglise & Magne (1987) e Graham et al. (1984) denominaram de pirólise lenta aquela em que a velocidade de aquecimento é menor ou igual a $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ para se atingir a temperatura final de tratamento. Conforme os autores, essa é a condição ideal para se obter, de forma otimizada, os resíduos sólidos durante o processo de pirólise.

Crow & Pickles (1971), baseados em observações com adição de espectrofotometria infravermelho, difração de raios X e análise térmica diferencial, concluíram que a ação do calor somente resulta em transformações químicas e físicas na madeira a partir de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, considerando-se uma taxa de aquecimento de $16\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$.

2.2 Processo de termorretificação e a contribuição tecnológica à madeira

Uma técnica recente, que envolve a ação do calor, é a retificação térmica ou termorretificação da madeira. Girard & Shah (2002) referiram-se aos primeiros estudos sobre termorretificação iniciados na França na década de 80, tendo como princípio a madeira torrada. Posteriormente, outros pesquisadores manifestaram interesse pela técnica. O desafio de se colocar no mercado um produto de melhor qualidade, alavancou as pesquisas culminando com o aparecimento da produção de madeira termorretificada.

Gohar et al. (1998) mencionaram que esse termo pode ser definido como um processo de pirólise controlada da madeira. Segundo Vergnet (1988), o termo genérico “madeira torrada”, refere-se aos produtos sólidos resultantes da pirólise exotérmica e parcialmente controlada da madeira, que ocorre entre temperaturas de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $280\text{ }^{\circ}\text{C}$. Conforme o autor, nesta faixa de temperatura a madeira apresentava como propriedades: a) elevado conteúdo energético; b) hidrofobia – praticamente não ocorria absorção de umidade; c) ótima durabilidade e friabilidade. A madeira termorretificada proporciona valorização de espécies de baixo valor e de madeiras secundárias; substituindo espécies que não podem ser submetidas a impregnação com sais metálicos e o tratamento de espécies cuja impregnação é proibida de acordo com a natureza do uso final da madeira (Embalagens na indústria de alimentos, por exemplo).

A madeira termorretificada pode ser indicada para diversos fins, quais sejam: revestimento, fabricação de paredes à prova de som, assoalhos, terraços, móveis para jardim, batentes de porta e janela.

A madeira termorretificada pode ser destinada para usos internos (parquete, móveis, decoração interior) e utilizada na fabricação de instrumentos musicais, para os quais a estabilidade garante propriedades acústicas consistentes. A madeira retificada transformada em fragmentos, pode ainda ser usada para a manufatura de materiais compostos em associação com vidro, fibra de vidro, materiais colantes (gesso, cimento, etc.). O desenvolvimento dos estudos sobre termorretificação indica que o processo é operacionável em escala industrial. Ressalta-se que os custos têm se mostrado compatíveis com as possibilidades de mercado (Gohar & Guyonnet 1998; Duchez & Guyonnet, 2002). A referência mais recente do uso de madeira termorretificada foi encontrada na construção da sede nacional da rede de “FAST FOOD” do McDonalds na Finlândia (Kaila, 1999).

2.3 Cupim e madeira

Os cupins são encontrados em ampla faixa do ambiente terrestre, distribuídos pelas regiões mais quentes do mundo (Eaton & Hale, 1993). Esses insetos atacam árvores vivas, mas os maiores danos concentram-se às madeiras das edificações (Cavalcante, 1982). Conforme o autor no processo industrial ocorrem danos por *Cryptotermes brevis*, que nidifica em madeiras processadas, edificações, móveis e produtos derivados da celulose como o papel. Os problemas são de larga dimensão, e constituem um desafio aos pesquisadores para controlar os referidos insetos.

Bandeira et al. (1998) reportaram que são conhecidas mundialmente mais de 2.500 espécies de cupins. Krisna & Wesner (1969/1970) mencionaram que, erroneamente, os cupins quase sempre estão relacionados com perdas e danos

econômicos, no entanto apenas 10% das espécies do mundo são realmente consideradas pragas.

Eaton & Hale (1993) consideraram que os custos mundiais de tratamento para erradicação de infestações de cupins, no ano de 1986 no Japão, foram estimados em US\$ 1.920.000.000. De acordo com Noguchi et al. (1991), nesse País o perigo dos cupins é comparável ao risco causado pelo fogo, nas construções de madeira durante todo o ano. Lelis (1994) citado por Lelis (1995) realizou um levantamento da ocorrência de cupins no período de 1973 a 1993, num total de 240 edificações inspecionadas, na cidade de São Paulo, estimando um prejuízo de US\$ 3.500,000.

Segundo Milano (1998), os problemas com cupins no Brasil vêm crescendo e causando danos cada vez maiores em várias áreas urbanas. O autor menciona ainda, que a estimativa dos gastos com controle das infestações e reposição das peças danificadas chegam a aproximadamente US\$ 10 milhões anuais, somente para a cidade de São Paulo e que a quantidade de ninhos de *Coptotermes havilandi* instalados na capital paulista, cresce em proporção geométrica, a uma taxa de 10% ao ano.

De acordo com as considerações de Serpa (1986), os térmitas do gênero *Cryptotermes* são os principais destruidores das obras sacras, molduras de quadros, altares, vigas, caibros e ripas, constituintes do madeiramento das coberturas das edificações da cidade histórica de Olinda, em Pernambuco.

Harris (1971) mencionou que os cupins causam danos em documentos, livros, madeiras de construção e materiais de origem orgânica. Conforme o autor são considerados de importância econômica, *Reticulitermes* na Europa e nos Estados Unidos; *Coptotermes* na Austrália, Ásia e parte da África; *Macrotermes* e *Odontotermes* na África do Sul, Índia e sudeste da Ásia; *Mastotermes* no norte da Austrália e *Cryptotermes* nos países tropicais e região costeira dos continentes.

Siqueira (2000) relatou a ocorrência de cupins destruindo o acervo da biblioteca da cidade de Santos colocando em risco aproximadamente 50.000 obras, com raridades dos séculos 17 a 20.

Bandeira et al. (1998) relataram ser *Cryptotermes brevis* a principal praga de objetos em madeira branca da Universidade Federal da Paraíba, em João Pessoa.

Santos (1982) testou a susceptibilidade de 35 espécies de madeira da Amazônia, ao ataque de *Cryptotermes brevis* e concluiu que 5 foram susceptíveis, 9 resistentes e as 21 espécies restantes apresentaram níveis intermediários de resistência.

Fontes (1996) mencionou os danos provocados por cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*, em edificações históricas e constatou ser através do madeiramento dos telhados, o meio mais favorável à infestação e desenvolvimento destes insetos. Oliveira (1997) estudou sete espécies de *Eucalyptus*, submetidas a ensaios biológicos com *Cryptotermes brevis*, visando à indicação de madeiras para a construção civil, concluindo que as madeiras de *E. grandis* e *E. urophylla* foram as mais susceptíveis ao ataque dos térmitas, enquanto que *E. tereticornis* e *E. pilularis* comportaram-se moderadamente aos danos dos cupins. *E. cloeziana*, *E. paniculata* e *E. citriodora* se comportaram melhor, com menor incidência de ataque.

2.4 Características da Ordem Isoptera

Os cupins ou térmitas são insetos sociais polimórficos que constroem seus ninhos, conhecidos por cupinzeiros ou termiteiros, para proteção da colônia, armazenamento de alimento e manutenção de condições ótimas para desenvolvimento dos indivíduos (Berti Filho, 1993). O nome Isoptera deriva do fato de as formas aladas possuírem dois pares de asas membranosas sub-iguais (Iso = igual; *pteron* = asas). São insetos mastigadores e desenvolvem-se por paurometabolia (ovo, ninfa e adulto) (Gallo et al., 2002).

2.4.1 Biologia e comportamento dos cupins

Os cupins apresentam uma característica especial, o fenômeno de eussocialidade, representada por castas reprodutoras, interdependência entre indivíduos, sobreposição de gerações e cuidados com a prole (Myles, 2002). A estrutura social dos cupins é composta por indivíduos que se distribuem em castas (Grassé, 1982; Oliveira et al., 1986).

A sociedade dos cupins geralmente é constituída por três castas: reprodutores, operários e soldados. Os reprodutores são indivíduos destinados à reprodução, contribuindo para a propagação da espécie fora do cupinzeiro em que se originaram e para o estabelecimento de novas colônias, sendo a única casta fértil da colônia. Os reprodutores podem ser primários (originados de indivíduos alados, responsáveis pela fundação de novas colônias) ou secundários (oriundos de ninfas ou operários, chegando em alguns casos a fundar novas colônias); os operários constituem a maior parte da população do cupinzeiro, desempenhando as funções de alimentação, construção e manutenção da colônia; e os soldados têm a função de proteger a colônia, colaborando ainda, com os operários no seu trabalho (Kofoid, 1934).

Para a fundação de novas colônias, os reprodutores alados de uma colônia madura, fazem a enxameagem, após a qual, pousam, perdem as asas e formam o casal real. Após a formação do casal real, ocorre a escavação da câmara nupcial e a amputação parcial mútua das antenas efetuada pelo próprio casal, acontecendo a primeira cópula e postura dos ovos. A revoada é possível porque os alados ao longo do seu desenvolvimento, tornam-se fototrópicos positivos, possibilitando a sua saída da colônia de origem. O fototropismo positivo é mais acentuado no momento da revoada e após a perda das asas os térmitas tornam-se fototrópicos negativos, como as demais castas que compõem a colônia (Grassé, 1984).

Os cupins por possuírem fototropismo negativo, vivem confinados no interior dos ninhos e não possuem olhos (Grassé, 1982). Conforme o autor, os quimiorreceptores que se localizam nas extremidades das antenas, em conjunto com pêlos sensoriais, são

os responsáveis pela percepção dos estímulos olfato e tato. O autor menciona, ainda, que tais insetos possuem sensilas nos palpos maxilares e labiais, e a importância da olfação é evidenciada pela detecção de alimento ou de outras substâncias pelas quais são repelidos quando nocivas.

No aspecto evolutivo, existem dois grupos de cupins. Os superiores e os inferiores. Os primeiros pertencem à família Termitidae, as outras famílias fazem parte do grupo dos inferiores. Os cupins primitivos (inferiores) apresentam pequeno número de indivíduos nas colônias; ninhos pouco elaborados; utilizam como alimentação produtos à base de celulose, degradada por protozoários simbiotes, possuindo castas pouco definidas. Os cupins superiores apresentam colônias populosas; ninhos bem elaborados; utilizam outras fontes de alimentos que não seja madeira; degradam a celulose através de bactérias e possuem castas bem definidas (Krishna, 1970 e Oliveira et al. 1986).

Segundo Edwards & Mil (1986), a alimentação dos térmitas é muito variada entre as espécies, pois nem todas apresentam hábitos xilófagos; há espécies que se alimentam de matéria orgânica em decomposição, madeiras deterioradas por fungos e outras forrageiam ou cultivam fungos.

2.5 Cupim de madeira seca

Do gênero *Cryptotermes*, *C. brevis* é considerada a praga mais voraz para o ambiente doméstico, sendo a mais amplamente distribuída em todo o mundo e é originária da Índia e tem se adaptado por todos os países onde foi levada (Edwards & Mil, 1986; Robinson, 1996).

Os cupins desse gênero infestam madeira seca não apodrecida, ramos de árvores vivas em locais sombreados, árvores em pomares, postes e madeiras armazenadas (Marer, 2002).

O cupim de madeira seca vive exclusivamente dentro da madeira da qual se alimenta, formando colônias pouco populosas, com alguns milhares de indivíduos e seus maiores danos são observados em produtos derivados de madeiras; também é considerada economicamente a mais importante encontrada no Brasil (Oliveira, 1997).

De acordo com Marer (2002), as colônias de *C. brevis* são normalmente, pequenas chegando a 1000 indivíduos, vivendo em peças de madeiras, móveis, podendo ser dispendiosamente transportados por ação antrópica, implicando em ampla área de distribuição. O autor coletou colônias dessa espécie de cupim, com número de indivíduos variando de 100 a 250 por colônia.

No Brasil, *C. brevis* foi detectado inicialmente no Sudeste e Norte, com maior expansão a partir do Sudeste (Edwards & Mill, 1986), tendo sido provavelmente assinalado no Brasil pela primeira vez em 1957 (Araújo, 1970).

Araújo (1977) e Fontes (1983/1998) mencionaram que *C. brevis* é a principal praga das construções do sudeste brasileiro, ocorrendo também nas regiões norte e sul do Brasil infestando apenas o madeiramento das edificações.

Segundo Harris (1971), *C. brevis* tem grande potencial de destruição, causando danos em madeiras das estruturas de edificações, em móveis, livros e demais produtos oriundos da celulose, tendo como consequência inúmeros prejuízos em áreas urbanas em todo o mundo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta e criação de cupins

A presente pesquisa foi iniciada com a coleta de colônias de cupins em residências da cidade de Piracicaba, São Paulo, Brasil e nos Departamentos da ESALQ/USP. Materiais como mesas, escrivaninhas e armários, entre outros móveis, infestados pelo cupim *Cryptotermes brevis*, foram levados ao Laboratório de Entomologia Florestal do Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola da ESALQ/USP. Os materiais coletados foram serrados e retirados blocos de madeira infestados de cupins, que foram colocados dentro do frasco plásticos com tela na parte superior, onde permaneceram até a montagem do experimento das madeiras termorretificadas com os cupins (Figura 1).

Foram coletadas aproximadamente 30 colônias de cupins, tendo cada uma de 100 a 250 indivíduos. Os cupins foram retirados dos blocos de madeira e colocados em placas de Petri, ficando nestas, por aproximadamente 24 horas para o reconhecimento entre indivíduos para, posteriormente, serem montados os ensaios com os corpos de prova de madeira submetidos ao tratamento térmico.

Figura 1 - Cupim *Cryptotermes brevis* mantidos em laboratório (Laboratório de Entomologia Florestal, ESALQ/USP – Outubro de 2000).

3. 2 Obtenção da madeira

A madeira de *Eucalyptus grandis* utilizada para a realização desse trabalho foi extraída de florestas implantadas, localizadas na Estação Experimental de Ciências Florestais (EECF) de Anhembi no Estado de São Paulo Brasil, pertencente à ESALQ/USP. O plantio apresentava árvores com idade de 21 anos e diâmetro entre 35 e 45 cm, com altura variando de 20 a 25 metros (Figuras 2 e 3).

Figura 2 - Plantio de *Eucalyptus grandis* com 21 anos de idade, 35 a 45cm de diâmetro e altura de 20 a 25m (EECF – Anhembi – SP, Dezembro de 2000).

Figura 3 – Obtenção de toras de 4 a 5 m de comprimento (EECF – Anhembi – SP, Dezembro de 2000).

3. 3 Desdobramento da madeira na serraria

As toras foram desdobradas em pranchas de 400 x 25 x 3cm na serraria da ESALQ/USP (Figura 4). As pranchas foram empilhadas de forma padrão “tipo caixa” e cobertas com telhas de amianto ondulada (Brasilit), para perda natural de parte da água, ficando ao ar livre por um período de 6 meses (Figura 5). Essa prática de secagem ao ar livre é denominada de pré-secagem da madeira, etapa importante para a redução do teor de umidade e de possíveis defeitos de secagem que corresponde à eliminação da água livre da madeira. Após essa etapa as pranchas foram reprocessadas para obtenção de tábuas menores nas dimensões de 28 x 15 x 2,5 cm e armazenadas em ambiente fechado para novamente entrar em equilíbrio higroscópico (Figura 6). Tais tábuas foram destinadas ao processo de secagem em estufa elétrica, com temperatura máxima de 100°C, etapa que corresponde à perda de águas livre e higroscópica.

Figura 4 – Processamento das toras para obtenção de pranchas de 400 x 25 x 3cm (Serraria da ESALQ/USP, Piracicaba – SP, Dezembro de 2000).

Figura 5 – Pranchas em exposição ao ar livre para redução do teor de umidade (Pátio da serraria da ESALQ/USP, Piracicaba – SP, Dezembro de 2000).

Figura 6 – Corpos de prova de 28 x 15 x 2,5 cm, armazenados em ambiente fechado para entrar em equilíbrio com a umidade do meio (LQCE, ESALQ/USP, Agosto de 2001).

3.4 Termorreificações

Foram utilizadas 160 tábuas nas dimensões de 28 x 15 x 2,5 cm. Antes dos tratamentos térmicos, as madeiras foram pesadas em balança digital. As larguras, comprimentos e espessuras foram medidos com auxílio de trena e paquímetro.

As termorreificações foram conduzidas no Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE) do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP. As tábuas foram aquecidas em estufa, dotada de sistema de aquecimento por resistência elétrica, com capacidade para 16 tábuas por tratamento (Figura 7).

Figura 7 - Estufa usada para a termorreificação da madeira de *Eucalyptus grandis* (LQCE, ESALQ/USP, Outubro de 2001).

Foram realizados cinco tratamentos térmicos com duas repetições para cada tratamento. A taxa de aquecimento foi da ordem de $0,135^{\circ} \text{ min}^{-1}$ com temperaturas finais de termorretificação de 120° C , 140° C , 160° C , 180° C e 200° C (Figura 8).

As tábuas foram colocadas na estufa com a temperatura regulada a 100° C , para início do processo de tratamento térmico. Após cada etapa de termorretificação, a estufa era desligada e as madeiras permaneciam no seu interior para resfriamento até atingirem a temperatura de 30° C , sendo retiradas e colocadas em sacos plásticos. Após cada termorretificação as tábuas tiveram suas dimensões novamente medidas.

Figura 8 - Etapas da termorretificação, não cumulativa (Temperatura x Tempo). Cada letra e respectiva área, corresponde a um tratamento térmico. A = Tratamento a 120° C ; B = tratamento a 140° C ; C = Tratamento a 160° C ; D = Tratamento a 180° C ; E = Tratamento a 200° C .

Figura 9 - Madeiras de *Eucalyptus grandis* mostrando suas respectivas temperaturas de termorretificação e a madeira testemunha (não tratada).

3.5 Preparo de corpos de prova e montagem do experimento (madeira x cupim)

Após as etapas das termorretificações, as tábuas foram reduzidas a corpos de prova de 7 x 2,3 x 0,6cm os quais, posteriormente, foram unidos aos pares para a instalação do experimento (madeira x cupim).

O experimento foi montado no Laboratório de Entomologia Florestal do Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola da ESALQ/USP (Figura 10). Foi usado o delineamento experimental inteiramente ao acaso, composto por 7 tratamentos e 15 repetições, conforme a seguir:

T_1 = madeira tratada a 100 °C; T_2 = madeira tratada a 120 °C; T_3 = madeira tratada a 140 °C; T_4 = madeira tratada a 160 °C; T_5 = madeira tratada a 180 °C; T_6 = madeira tratada a 200 °C; T_7 = madeira testemunha (seca ao ar livre).

Figura 10 – Representação do experimento “madeira x cupim” (Laboratório de Entomologia Florestal ESALQ/USP, Março de 2002).

Em cada repetição foram colocados 40 cupins, na proporção de 38 ninfas para 2 soldados. A montagem do experimento baseou-se no Método IPT – n^o 1157 – D/D2 DIMAD – 1980, Ensaio Acelerado de Laboratório da Resistência Natural ou de Madeira Preservada ao Ataque de Térmitas do Gênero *Cryptotermes* (Família Kalotermitidae).

3.6 Análise da perda de massa das madeiras termorretificadas

As perdas de massa das madeiras tais como água e alguns de seus componentes químicos, está diretamente ligada à temperatura. A mensuração dessa perda de massa foi obtida a partir da medição das tábuas e calculadas de acordo com a eq. (1). Com base nos dados observados, efetuou-se o percentual de perda de massa, o qual foi analisado

estatisticamente pelo teste F, através da análise de variância. As médias dos tratamentos foram comparadas a partir do teste de Tukey.

$$Pm = \frac{Mi - Mf}{Mi} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

Pm = Perda de massa (%);

Mi = Massa inicial antes do tratamento térmico (g);

Mf = Massa final após o tratamento térmico (g).

3.7 Avaliação e análise do experimento (madeira x cupim)

Os corpos de prova dos diversos tratamentos foram comparados e atribuídas notas de 1 (um) a 4 (quatro) para o dano provocado pelos cupins às madeiras, segundo a seguinte escala (Figura 11).

Além do dano causado às madeiras, foi observado o comportamento dos cupins e avaliado o número de cupins mortos. O número de cupins mortos foi submetido a análise de variância de Friedman. A comparação múltipla das médias dos tratamentos, tanto do número de cupins mortos como do dano em função da temperatura de tratamento das madeiras, foi obtida com aplicação do teste LSD (Least significant difference).

Figura 11 – Escala de dano provocado pelos cupins aos corpos de prova (Laboratório de Entomologia Florestal, ESALQ/USP – Junho de 2002).

Notas: 1 – dano superficial ou leve; 2 – dano moderado; 3 – dano acentuado; 4 – dano profundo correspondente ao do tratamento testemunha.

Vale ressaltar, que de acordo com o Método IPT – nº 1157 – D/D2 DIMAD – 1980, Ensaio Acelerado de Laboratório da Resistência Natural ou de Madeira Preservada ao Ataque de Térmitas do Gênero *Cryptotermes* (Família Kalotermitidae), está incluso a nota de dano igual a 0 (zero), porém nesta pesquisa não se verificou tal nota, isto é, todas as madeiras tiveram dano.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Influência da temperatura na perda de massa das madeiras

Os resultados da perda de massa das madeiras após as etapas dos tratamentos térmicos foram analisados (Figura 12) e (Tabelas 1 e 2).

Figura 12 - Perda de massa (*não cumulativa) das madeiras durante as termorretificações em função da temperatura.

* Cada etapa dos tratamentos térmicos foi realizada separadamente.

Tabela 1. Análise de variância com aplicação do teste F para a perda de massa das madeiras de *Eucalyptus grandis* durante os tratamentos térmicos.

Causas de variação	GL	F	Pr > F
Temperatura	4	61,88 **	0,0001
Resíduo	155		
Total	159		

** Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2. Teste de Tukey para as perdas de massa das madeiras durante os tratamentos térmicos.

Temperatura (°C)	Perda de massa (%)	Teste Tukey
120	2,33	d
140	2,78	c d
160	4,07	b c
180	5,19	b
200	9,68	a

Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si a 5% de probabilidade.

Há uma tendência de perda de massa das madeiras à medida que se eleva a temperatura (Figura 12). Essa mesma tendência foi verificada por Brito (1992) quando observou que a degradação das madeiras de *E. maculata* e *E. citriodora* é aumentada à medida que se leva a temperatura e os valores referenciais encontrados para ambas as espécies foram, respectivamente, 9,86 % e 6,51% à 200 °C, com taxa de aquecimento da ordem de 0,25 °C min⁻¹.

A redução de massa em função do acréscimo de temperatura é um fenômeno observável em todo e qualquer processo de pirólise da madeira. Em geral, o fenômeno

ocorre em fases detectáveis quando são consideradas a forte mudança na tendência da curva, que demonstra a evolução do fenômeno em relação à temperatura de aquecimento. Nesse estudo trabalhou-se com *E. grandis* e taxa de aquecimento da ordem de $0,135\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$. O processo de termorretificação iniciou-se a partir da temperatura de $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, quando se observa o início da perda de massa da madeira. As fases dos estágios da secagem ao ar livre e seca à $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, correspondem à eliminação das águas livre e higroscópica respectivamente.

Para o fenômeno da redução de massa nas madeiras em função da elevação do calor (Tabela 1), foi efetuada a análise de variância e o teste se mostrou altamente significativo. Através do teste de Tukey, se verificou que a temperatura de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ mostrou maior percentual de perda de massa em relação as demais (Tabela 2). Conforme as pesquisas de vários autores sobre o assunto, já era de se esperar que a menor perda de massa fosse verificada nas temperaturas de $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que realmente se constatou, mesmo que estatisticamente essas temperaturas não tenham diferido entre si.

4.2 Influência da temperatura de tratamento das madeiras sobre o número de cupins mortos e o dano causado às madeiras pelos cupins

Os resultados do número de cupins mortos e respectivo dano causado às madeiras termorretificadas foram registrados (Figuras 13 e 14) e (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Análise de variância com aplicação do teste Friedman para o número de cupins mortos em função da temperatura de tratamento das madeiras.

Causas de variação	GL	Friedman	Pr > F
Temperatura	6	3,49	0,0036*
Resíduo	98		
Total	104		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 13 - Cupins mortos em função da temperatura de tratamento das madeiras.

Figura 14 - Dano causado pelos cupins às madeiras em função da temperatura de tratamento.

Tabela 4. Teste LSD para o número de cupins mortos em função da temperatura de tratamento das madeiras.

Temperatura (°C)	Média cupins mortos	Teste LSD
200	28,17	a
180	10,83	b
160	7,50	b
140	10,80	b
120	14,67	b
100	5,00	b
(testemunha)	5,33	b

Tratamentos seguidos da mesma letra não apresentam diferença significativa entre si.

Foram observados cupins mortos em todos os tratamentos do experimento (madeira x cupim). De acordo com a avaliação, o tratamento térmico de 200 °C apresentou o maior número de indivíduos mortos, embora tenha ocorrido mortalidade nos demais tratamentos, em números diferenciados.

Conforme verificado na análise de variância (Tabela 3), a mortalidade dos cupins foi significativa. Através do teste de comparações múltiplas entre as médias de cada tratamento, pode se verificar que o tratamento de 200 °C foi mais significativo dentre os tratamentos comparados (Figura 14 e Tabela 4).

É provável que a mortalidade dos cupins, apresentada neste trabalho, esteja relacionada à presença de compostos orgânicos resultante da degradação térmica e, nesse aspecto, de acordo com Brito¹, a termodegradação da madeira gera produtos como os compostos fenólicos, formados à medida que a temperatura se eleva durante o processo de pirólise, podendo ficar resíduos desses compostos na peça tratada.

¹ Brito, J.O. Comunicação pessoal, 2002.

A respeito de compostos químicos presentes na madeira, relacionados à resistência natural a insetos xilófagos, Hillis & Yazaki (1973) e Tisseverasinghe & Jayatilleke (1973), Bultman & Parrish (1979), Scheffrahn (1991) e Cornelius et al. (1995) constataram que substâncias químicas como terpenóides, terpenos, quinonas, polifenóis e outros extrativos agem como repelentes e/ou como tóxicos aos cupins ou aos seus simbioses.

Diante do exposto, sugere-se que os componentes químicos termodegradados da madeira possam ter contribuído para a morte dos cupins. A mortalidade pode ser resultante da ação direta sobre os cupins, ou do desequilíbrio causado sobre seus simbioses. Pois, segundo Supriana (1985), citado por Abreu et al. (2000), a quantidade desses microorganismos, presentes no intestino dos cupins, pode se tornar insuficiente para digerir a celulose, influenciando o hábito alimentar desses insetos.

Sobre componentes químicos da madeira, Abreu et al. (2000) trabalharam com várias espécies de madeiras da Amazônia e duas espécies de cupins, *Nasutitermes macrocephalus* e *N. surinamensis*, para testes de resistência natural. Os autores verificaram que algumas madeiras foram consideradas altamente resistentes ao ataque dos térmitas, enquanto que outras foram resistentes e algumas não resistentes.

Quanto ao dano causado pelos cupins às madeiras em função da temperatura observou-se que as madeiras de todos os tratamentos foram atacadas, com grau de dano diferente entre os tratamentos (Figura 14 e Tabela 5). A madeira do tratamento térmico de 200 °C foi a menos atacada e a mais atacada foi do tratamento testemunha. Mesmo sendo atacadas pelos cupins, as madeiras não apresentaram diferenças significativas entre si, conforme as notas atribuídas para a escala de danos (Tabela 5). Vale ressaltar que as notas são atribuídas numa escala de 1 a 4 sendo muito subjetivas, e poderia variar se outro pesquisador efetuasse a avaliação. Porém o mais importante, foi a ocorrência do dano, indicando que a madeira tratada termicamente não foi resistente ao ataque dos cupins.

Tabela 5. Escala de dano dos cupins às madeiras em função da temperatura de tratamento.

Temperatura (°C)	Média de dano	Teste LSD
200	2,10	a
180	2,20	a
160	2,60	a
140	2,40	a
120	2,44	a
100	2,55	a
(testemunha)	2,70	a

Tratamentos seguidos da mesma letra não apresentam diferença significativa entre si.

Foi observado no experimento (madeira x cupim), o aparecimento de outras castas de cupins, já que foram colocados 38 ninfas e 2 soldados em cada parcela. De 4200 cupins colocados para o teste de resistência com as madeiras, apareceram 192 indivíduos alados. Provavelmente, tal comportamento é uma estratégia dos cupins para salvar a colônia, diante de um ambiente limite para sua sobrevivência.

Não foram observados alados em todas as parcelas do experimento. O tratamento de 180 °C, foi onde apareceu mais cupins alados, enquanto que no tratamento de 100 °C, observou-se menor número de indivíduos da referida casta (Tabela 6).

Outro comportamento dos cupins verificado, foi o canibalismo uma característica de inseto social. Os indivíduos mortos foram consumidos pelo restante da colônia. É provável que tal comportamento, esteja relacionado com uma estratégia exibida pelos cupins que é a de sanidade da colônia, na qual, indivíduos mortos e adoecidos são devorados por cupins da mesma colônia.

Tabela 6. Presença de indivíduos alados no experimento (madeira x cupim).

Tratamento/Temperatura (°C)	Número de indivíduos alados visualizados	Média de indivíduos alados visualizados
Testemunha	31	2,06
100	19	1,26
120	20	1,33
140	29	1,93
160	27	1,80
180	43	2,86
200	23	1,53

5 CONCLUSÕES

5.1 Dano causado às madeiras

O tratamento térmico das madeiras não funcionou como proteção ao ataque do cupim de madeira seca *Cryptotermes brevis*. Todas as madeiras termorretificadas, inclusive a madeira testemunha tiveram graus diferenciados de dano. A análise efetuada para o dano causado pelos cupins às madeiras, mostrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

5.2 Mortalidade de cupins

Todos os tratamentos do experimento (madeira x cupim), apresentaram cupins mortos, em quantidade variável para cada tratamento. Entretanto, segundo a análise realizada, o tratamento térmico de 200 °C foi estatisticamente diferente entre os demais tratamentos, apresentando maior número de cupins mortos e a menor mortalidade foi observada no tratamento testemunha.

5.3 Presença de outras castas

Houve aparecimento de cupins alados no experimento. Tal fenômeno pode ter ocorrido por causa da mudança nas condições ambientais para seu desenvolvimento, funcionando como estratégia de dispersão para salvar a colônia. O tratamento de 180 °C apresentou a maior quantidade de cupins alados, enquanto que no tratamento de 100 °C esse número foi menor.

5.4 Comentários adicionais

Nesta pesquisa o experimento (madeira x cupim) foi instalado em condições limites para os cupins, ou seja, havia uma única alternativa para a sua alimentação. A morte de cupins e o aparecimento de indivíduos alados mostrou que tais insetos, em condições extremas, podem exibir estratégias para a sobrevivência da espécie.

A ocorrência de canibalismo nos indivíduos mortos, mostrou um comportamento característico de inseto social, sendo consumidos pelo restante da colônia, parecendo ser uma prática de sanidade da colônia.

Seria interessante em estudos futuros envolvendo madeira e cupim, fazer testes de preferência alimentar, nos quais tais insetos teriam alternativas de escolha do alimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, R.L.S. de; SILVA, K.E.S. da. Resistência natural de dez espécies madeireiras da Amazônia ao ataque de *Nasutitermes macrocephalus* (Silvestri) e *N. surinamensis* (Holmgren) (Isoptera: Termitidae). **Revista Árvore**, v. 24, n. 2, p.229-234, jun. 2000.
- ARAÚJO, R.L. Termites of the neotropical region. In: KRISHNA, K.; WEESNER, M. (Ed.). **Biology of termites**. New York: Academic Press, 1970. v.2, cap. 12, p. 527 – 576.
- ARAÚJO, R.L. **Catálogo dos Isoptera do novo mundo**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1977. 92p.
- BACCHUS, S.A. taxonomic and biometric study of the genus *Cryptotermes* (Isoptera: Kalotermitidae). **Tropical Pest Bulletin**, v.7, p.1-91, 1987.
- BANDEIRA, A.G.; C.S. MIRANDA; A. VASCONCELOS. Danos causados por cupins em João Pessoa, Paraíba – Brasil. In: FONTES, L.R.; BERTI FILHO E. (Ed.) **Cupins: o desafio do conhecimento**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 75 – 85.
- BERTI FILHO, E. **Cupins ou térmitas**. Piracicaba: IPEF; SIF, 1993. 56p. (Manual de Pragas em Florestas, 3).

BRITO, J.O. Estudo das influências da temperatura, taxa de aquecimento e densidade da madeira de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus citriodora* sobre os resíduos sólidos da pirólise. Piracicaba, 1992. 81 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BRITO, J.O. **Estudo sobre retificação térmica das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus saligna***. Piracicaba: ESALQ, 1997. 198p. (Relatório Final).

BRITO, J.O; BARRICHELO, L.E.G. Comportamentos isolados da lignina e da celulose da madeira frente à carbonização. **Circular Técnica IPEF**, n.28, p.1-4, 1979.

BULTMAN, J.D.; PARRISH, K.K. Evaluation of some wood extractives and related compounds as anti-borer, anti-fungal, and anti-termitic agents. **International Biodeterioration Bulletin**, v.15, n.1, p. 19-27, 1979.

CAVALCANTE, M.S. **Deterioração biológica e preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1982. 41p. (Pesquisa & Desenvolvimento, 8).

CORNELIUS, M.L.; GRACE, J.K.; FORD, P.W.; DAVIDSON, B.S. Toxicity and repellency of semiochemicals extracted from a *Dolichoderine ant* (Hymenoptera, Formicidae) to the formosan subterranean termites (Isoptera, Rhinotermitidae). **Environmental Entomology**, v.24, n.5, p.1263-1269, 1995.

CROW, S.Z.; PICKLES, K.J. Thermal softening and degradation of wood and bark. **Wood Fiber**, n. 3, p. 166-178, 1971.

DEGLISE, X.; MAGNE, P. Pyrolysis and industrial charcoal. In: HALL, D.O.; OVEREND, R.P. (Ed.) **Biomass regenerable energy**. New York: John Willey, 1987. p. 17 – 35.

- DUCHEZ, L.; GUYONNET, R. **Principles & applications of wood rectification**. <http://techtp.com/twopapers/fao> (20 mar. 2002).
- EATON, R.A.; HALE, M.D.C. **Wood: decay, pests and protection**. London: Chapman & Hall, 1993. 546p.
- EDWARDS, R.; MILL, A. E. **Termites in buildings: their biology and control**. Felcourt: Rentokil, 1986. 231p.
- FERNANDES, J.L.G. **Boletim informativo preservação**. São Carlos: Preservar. 1999. 25p.
- FONTES, L.R. Controle de cupins em ambientes urbanos. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE CONTROLE DE PRAGAS URBANAS, 2., São Paulo, 1996. **Anais**. EXPOP prag, 1996. p.53-68.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D; MARCHINI, L.C; LOPES, J.R.S; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920p.
- GIRARD, P.; SHAH, N. Developments on torrefied wood, an alternative to charcoal for reducing deforestation. http://www.techtp.com/twopapers/fao_paper.htm (13 set. 2002).
- GRAHAM, R.G.; BERGOUGNOU, M.A; OVEREND, R.P. Fast pyrolysis of biomass – a review. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, n.6, p.95–135, 1984.
- GRASSÉ, P-P. **Termitologia**. Paris: Masson, 1982 – 1984. 2v.

- GOHAR, P.; GUYONNET, R. Development of wood rectification process at the industrial stage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD PRESERVATION, 4., Cannes, 1998. Cannes: IRG, 1998. p. 173-178.
- GUEDIRA, F. Pyrolise lente de la biomasse: comportement compare des tourteux d'olives, de la bagasse de canne a sucre et la sciure de bois (Pim maritime). Maroc, 1988. 122p. Thèse (Docteur) – Université Mohamed.
- HARRIS, W. V. **Termite**: their recognition and control. 2. ed. London: Longman Group. 1971. 186p.
- HILLIS, W.E.; YAZAKI, Y. Polyphenols of Intsia heartwood. **Phytochemistry**, v.12, p.2491-2495, 1973.
- KAILA, P. Architecture en Finlandia: tecnologia de la construcción. Los paneles. **Revista Internacional para la Industria Maderera para Latino América**, v. 19, n.202, p.8-19, mayo 1999.
- KOFOID, C.A., **Termites and termite control**. 2. ed. Berkeley: University of California Press, 1934. 795p.
- KRISHNA, K.; WEESNER, F.M. **Biology of termites**. New York: Academic Press, 1969-1970. 2v.
- KRISHNA, K. Taxonomy, phylogeny, and distribuion of termites. In: KRISHNA, K.; WEESNER, M. (Ed.). **Biology of termites**. New York: Academic Press, 1970. v.2, cap.3, p.127 – 152.

- LELIS, A.T. Cupins urbanos: biologia e controle. In: BERTI FILHO, E.; FONTES, L.R. (Ed.). **Alguns aspectos atuais da biologia e controle de cupins**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 77-80.
- LEPAGE, E.S. Métodos de tratamento. In: LEPAGE, E.S. (Comp.) **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.2, p.343-411.
- MARER, P. **Residential industrial pestcontrol**. <http://www.ipm.ucdavis.edu / PMG / PESTNOTES> (15 maio 2002).
- MARTIN, G. Pyrolyse-gazéification du bois-aspects physicochimiques. Nancy, 1984. 204p. Thèse (Docteur) - Université de Nancy.
- MILANO, S. Diagnóstico e controle de cupins em áreas urbanas. In: FONTES, L.R.; BERTI FILHO, E. (Ed.) **Cupins: o desafio do conhecimento**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 45 – 74.
- MYLES, T. G. **Causal factors in the origin of termite eusociality**. <http://www.utoronto.ca/forest/termite> (05 jun. 2002).
- NOGUCHI, M.; FUJII, Y.; OWADA, M. et al. A E monitoring to detect termite attack on wood of commercial dimension and posts. **Forest Products Journal**, v.41, n.9, p.32-36, 1991.
- OLIVEIRA, J.T. S. Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil. São Paulo, 1997. 2v. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- OLIVEIRA, A. M. F.; LELIS, A. T. de; LEPAGE, E. S.; CARBALLERA LOPEZ, G. A.; SAMPAIO OLIVEIRA, L. C. de; CAÑEDO, M. D. MILANO, S. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E. S. (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v. 1, p. 99-278.

- PINCELLI, A.L.S.M. Efeito da termorreificação no envernizamento, colagem e cor da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Piracicaba, 1999. 115p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- ROBINSON, W. H. **Urban entomology**: Insect and mite pests in the human environment. London: Chapman & Hall, 1996. 430p.
- SANTOS, M.D.G.C. The susceptibility of 35 amazon wood species to *Cryptotermes brevis* (Walter). São Paulo: IPT, 1982. 11p.
- SCHEFFRAHN, R.H. Allelochemical resistance of wood to termites. **Sociobiology**, v.19, n.1, p.257-281, 1991.
- SERPA, F.G. **Cupim, uma ameaça a Olinda**: patrimônio da humanidade: São Paulo: ABPM, 1986. 8p. (Boletim ABPM, 40).
- SIQUEIRA, F. Cupim consome biblioteca de Santos. **Folha de São Paulo**, 21 fev. 2000. Folha, Santos, p.1.
- TISSEVERASINGHE, A.E.K., JAYATILLEKE, M.P. A preliminary study of the feeding preferences of dry wood termites. **Sri Lanka Forestry**, v.11, p.13-18, 1973.
- VERGNET, L.F. **Torrefied wood**: characteristics, economics and prospects at the present stage of process development. Nogent Sur Marne: CIRAD, Head of Energy Department, 1988. 1v.

VOVELLE, C.; MELLOOTTEE, H. Modelisation de la pyrolyse oxydante ou nonoxydante de bois ou de déchets végétaux à partir de leurs composants. In: PALZ, W.; CHARTIER, P. (Ed.). **Energy from biomass**. 2.ed. London: Applied Sciences, 1982. p.925-929.

WENZL, H.F.J. **The chemical technology of wood**. New York: Academic Press, 1970. 692p.